

## Краткие сообщения

УДК 551.32:581.526

### ВОРОНКИ ВЗРЫВОВ У КРАЯ ЛАВОВОГО ПОТОКА ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ (КАМЧАТКА, 2012–2013 гг.)

©2015 С.Ю. Гришин

*Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток 690022; e-mail: grishin@ibss.dvo.ru*

При обследовании контакта свежего лавового потока Толбачинского извержения 2012–2013 гг. с лесной растительностью было обнаружено необычное явление — воронки взрывов, частично разрушивших старый лавовый покров и почвенно-пирокластический чехол. Там же отмечены и следы мощного опаливания на стволах кустов ольхового стланика, прилегающих к воронкам. Вероятнее всего эти воронки возникли в результате взрывов, произошедших вследствие концентрации в трещинах и полостях старой лавы метана, появившегося в ходе пиролиза древесины, погребенной раскаленной лавой.

*Ключевые слова:* растительность, взрывы, факелы, метан, пиролиз, извержение, лава, Толбачик.

В августе 2013 г. автор, изучая поражение растительности в ходе Толбачинского извержения 2012–2013 гг., на контакте свежего лавового потока с лесной растительностью обнаружил следы необычного явления — воронки, разрушившие почвенно-пирокластический чехол. Там же были отмечены и следы мощного опаливания на стволах кустов ольхового стланика, прилегающих к воронкам. Воронки находились недалеко (~ 10–15 м) от борта лавового потока, и можно было сразу предположить связь между ними. Однако причины образования воронок, источник горения и последовательность протекавших процессов были неясны. В первых появившихся публикациях об извержении 2012–2013 гг. (Самойленко и др., 2012, Белоусов, Белоусова, 2013, Edwards et al., 2013 и др.) о данных явлениях не было никакой информации. Удалось найти лишь упоминание о пламени в сводке о Толбачинском извержении 1975–1976 гг. (Большое ..., 1984, с. 30): «На поверхности лавы часто наблюдались зеленовато-голубые вспышки и горящие факелы. Возможно, это сгорали остатки растительности, захваченные лавой, или газ, выделявшийся из лавовых карманов и полостей в лавовом потоке». Пояснение, сделанное во второй фразе, в сущности ничего не объясняет, поскольку

растительность, как известно, не горит зеленовато-голубыми вспышками или факелами, а мощный источник горючего газа в полостях лавы неизвестен. Проведенное автором небольшое исследование позволило выявить характер данного явления.

Лавовые потоки извержения 2012–2013 гг., (камчатскими вулканологами ему присвоено название «Трещинное Толбачинское извержение им. 50-летия Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН»), расположенные в северной части Толбачинского дола, оказались наиболее разрушительным для окружающей среды фактором этого катаклизма. В ходе извержения сформировались три лавовых поля, названные Водопадным, Ленинградским и Толудским (Двигалю и др., 2014). Более 35 км<sup>2</sup> территории дола превратились в безжизненный вулканический бедленд (Гришин и др., 2013), на котором восстановление естественной растительности может длиться тысячи лет (Гришин, 1992).

Лавовое поле Ленинградское, обследованное автором на отдельных участках, стало самым крупным; его лавы перекрыли центральную, осевую часть дола, где расположена высокогорная зона вулканических пустынь и затем его потоки двинулись на запад. Они прошли через субаль-

пийский пояс, занятый шлаково-лавовыми пустошами и затем внедрились в стланиково-лесной пояс (рис. 1). К 1.12.2012 г. потоки на высоте около 600 м вошли в пояс сомкнутого леса, а их средняя скорость на этом этапе, по оценке автора на основе серии спутниковых снимков, составляла около 50 м/час. Далее потоки глубоко вторглись в пояс хвойного леса, скорость их постепенно снижалась, и к 5.12.2012 г. они спустились до высоты 300 м над ур.м. Еще несколько дней, приблизительно до 10.12.2012 г., происходила стабилизация языка потока, сопровождаемая медленным движением (подвижками) на фронте. При этом очевидцы, находившиеся 5-10.12.2012 г. на остывшей поверхности потока (стихийная зона посещения возникала в месте, где лава перерезала дорогу, идущую из пос. Козыревск на Толбачинский дол), отмечали движение лавы внутри тела потока. В средней части поля открытое движение лавы продолжалось: 8 и 15 декабря 2012 г. очевидцами было зафиксировано движение новой лавы поверх первого яруса. В верхней же части лавового поля (выше 1100 м) еще более месяца продолжалось перекрытие поверхности и наслоение мощных толщ, достигших местами 80 м (Двигало и др., 2014).

Вторгнувшись в подгольцовый (состоящий из стлаников, лугов и редколесий) и лесной пояса, лава нижней части Ленинградского поля заняла территорию площадью ~ 6 км<sup>2</sup>, покрытую древесной растительностью. Под лавой исчезли леса из лиственницы, каменной и белой березы, заросли ольхового и кедрового стлаников, луга, а также территории старых лавовых потоков, частично заросшие кустарниково-травяной растительностью. Именно на участке такого старого

потока (рис. 1, т. 1) и были обнаружены воронки.

Фронт лавового потока достиг высоты описываемого места приблизительно 1 декабря, но в дальнейшем сюда, вероятно, доходили новые потоки, расширившие лавовое поле в этом месте до ~ 420 м. Борт лавового потока возле воронок имеет высоту 5-6 м, сложен небольшими глыбами и мелкообломочным материалом (рис. 2). Верхняя часть лавового потока вблизи борта была перекрыта такими же глыбами; повышенной температуры и запаха газов летом 2013 г. не ощущалось, но на расстоянии ~ 150-200 м от борта к северу, в средней части потока, местами была зафиксирована температура более 100°.

Рельеф участка, на котором обнаружены воронки, представляет собой относительно ровный пологий склон старого лавового потока; высота около 750 над ур.м. Возраст лавы этого потока — около 1000 лет (Большое ..., 1984). Сукцессия здесь не завершена, поскольку на Толбачике она длится до 2000 лет (Гришин, 1992). Растительность представляет собой несомкнутые заросли и отдельные кусты ольховника (*Alnus fruticosa*) высотой до 4-5 м, чередующиеся с травянистыми полянками (преимущественно из злака вейника Лангсдорфа и иван-чая узколистного). Над ольховником возвышаются стволы сухих лиственниц, погибших в результате пеплопада 1975 г., а также молодых лиственниц, появившихся после этого пеплопада. Единично встречаются береза каменная, рябина сибирская, древовидные и кустарниковые ивы, а также кусты кедрового стланика. Местами видны выходы лавы и участки шлаковых обнажений (тефра 1975 г.).

Воронки, обнаруженные у борта потока 2012 г., напоминают траншеи или шурфы длиной

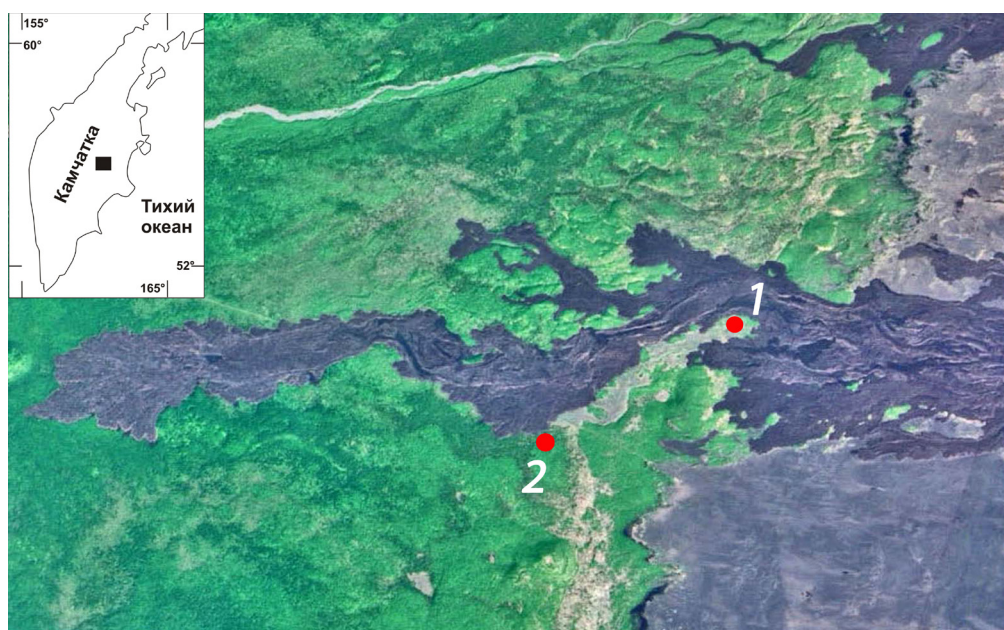


Рис. 1. Район исследований. Нижняя часть лавового поля Ленинградское и расположение участков со взрывными воронками (точки 1, 2). Фрагмент фото со спутника EO-1 ALI от 6 июня 2013 г.





**Рис. 2.** Контакт лавового потока с древесной растительностью возле взрывных воронок.  
Фото 2-6 сделаны С.Ю. Гришиным.



**Рис. 3.** Взрывная воронка с вывернутыми лавовыми глыбами.

до 2 м, с обнаженной стенкой до 0.5 м глубиной (рис. 3). Сверху под сухим травяным очесом местами видна опаленная подстилка, ниже — тефра 1975 г. и погребенная почва, лежащая на лавовых глыбах. Глыбы в обнажении отчасти зачищены (по-видимому, взрывами и затем обмыты талыми и дождевыми водами). Дно воронок присыпано мелкообломочным материалом, включающим тефру 1975 г. Травяная растительность вокруг

крупных воронок погибла, и летом 2013 г. еще не восстановилась; остатки прежней были представлены сухой ветошью. Кусты ольховника, у основания которых возникли воронки, усохли; их ветви диаметром до 3 см, нависавшие над траншеями и воронками, представлены перегоревшими побегами (рис. 4). Зафиксированы и более мощные перегоревшие основания стволов — диаметром до 10–15 см. Всего на участке ~ 10×10 м насчи-





**Рис. 4.** Взрывная воронка с перегоревшими ветвями ольховника (в нижней части куртины) над ней (а). Перегоревшая ветвь, крупный план (б).



**Рис. 5.** Небольшая взрывная воронка (приблизительно 0.7 м в поперечнике и 0.7 м в глубину).

тывалось три таких траншеи-воронки. Кроме крупных воронок, отмечены и мелкие (до 1 м в поперечнике) (рис. 5), а также участки выгорания сухой дернины у кочек, сформированных вейником (рис. 6). Аналогичные выгоревшие участки дернины мы наблюдали единично и в другом месте (рис. 1, т. 2).

По имеющимся данным можно восстановить картину явления, допустив, что в основе образования воронок могли быть фреатические взрывы, произошедшие под новой лавой. Как следствие таких взрывов, водяной пар мог проходить под высоким давлением по трещинам и каналам в старой подстилающей лаве за пределы раскаленной толщи, с последующими прорывами вертикально вверх. Однако следы воздействия пламени на ветви ольховника показывают оче-

видное присутствие горючего газа, а не пара. При этом источник горевшего газа был достаточно мощным; поскольку для того, чтобы пережечь ствол или ветвь живого ольховника, имеющего отрицательную температуру, нужно опаливать струей пламени достаточно долго, либо струя пламени должна достаточно интенсивной (это хорошо известно всем, кто пытался использовать сырые ветви ольховника в качестве дров для костра). Что же служило столь мощным источником горючего газа и что это был за газ? Среди вулканических газов, содержащиеся в лаве, горючих немного ( $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ), концентрация их незначительна (Symonds et al., 1994), поэтому причиной взрывов и факелов они быть не могут.

Между тем, такого рода явления хорошо известны на вулканах Гавайских островов, где





Рис. 6. Выгоревшая дернина вейника Лангсдорфа.

называются метановыми взрывами (methane explosions) и внесены в список опасностей для туристов (Heggie, 2009). Их причиной является метан  $\text{CH}_4$  — горючий газ, образующийся при пиролизе растительных остатков, погребяемых лавой. Пиролиз — процесс, протекающий без доступа воздуха при температуре 150–450°C; в ходе его древесина превращается в древесный уголь, при этом выделяются смолы, вода и газы, включая метан (Гордон и др., 1988). Так, из 100 кг абсолютно сухой древесины образуется до 16 м<sup>3</sup> газов ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ), среди которых доля метана может достигать ~25% по объему (Перелыгин, 1957). Метан воспламеняется на воздухе при температуре 537°C, взрывоопасен при концентрации в воздухе 4–17%.

По совокупности имеющихся данных, можно полагать, что именно метан, образованный в процессе пиролиза (в отличие от метана, входившего в состав магматических газов), является единственной причиной выявленных на Толбачике взрывных воронок и следов опаливания. Что могло послужить основой для образования метана в районе Толбачинского извержения? По оценке автора, лавовым потоком Ленинградский на площади ~6 км<sup>2</sup> был погребен огромный объем древесных и растительных остатков — около 150000 м<sup>3</sup>. Это стволы деревьев, кроны деревьев, подлесок и подрост, сухостой (стволы деревьев, погибших в результате пеплопада 1975 г.), валеж, пни, кустарничковый ярус, мохово-лишайниковый ярус, опад, подстилка, дернина, органика погребенной почвы. Существенную долю древесины (до 15% от объема стволов) занимали также корневые системы деревьев и кустарников.

При контакте с лавой кора и тонкие ветви деревьев, подрост, часть кустарников выгорали, но основная часть древесно-растительной массы была погребена лавой. Погребенный и подвергнувшийся пиролизу материал находился в трех ярусах вертикальной дифференциации:

- в толще лавы, над поверхностью земли (условно — до 5 м по вертикали);

- непосредственно над поверхностью земли; это материал, придавленный отложениями потока, а также в самой верхней части почвенного профиля, в совокупности сжатый до минимального размера ~10–20 см;

- под поверхностью земли, в верхней части (до глубины ~0.5 м) почвенно-пирокластического чехла. Здесь были расположены корневые системы древесных растений (главным образом, деревьев и стлаников), а также органика погребенной почвы.

При погребении раскаленной лавой крупных стволов, в течение очень короткого времени (минуты) происходило, по-видимому, сверхинтенсивное выпаривание влаги с поверхности древесины и одновременно ее обгорание (обугливание) при частичном доступе кислорода. После погружения деревьев в анаэробные условия лавовой толщи начинался пиролиз, который, по-видимому, шел тем медленнее, чем ближе стволы находились к поверхности земли. Однако огромная энергия раскаленной лавы приводила к тому, что пиролизу постепенно, сверху вниз, подвергалась древесно-растительная масса всех трех перечисленных ярусов.

Выделяющийся метан (точнее, смесь газов, в которой существенную долю составлял горючий

метан) частью выгорал, частью улетал в атмосферу, а частью аккумулировался в замкнутых полостях и трещинах внутри лавы. Большие объемы растительно-древесной массы, подвергшейся пиролизу, приводили к тому, что в отдельных полостях газ находился под высоким давлением, и периодически происходили прорывы газа, который уходил по трещинам (или полостям) старой подстилающей лавы за пределы нового потока. Возможно, появление крупных трещин было связано с большим давлением массы новой лавы (десятки тонн на квадратный метр) на старый субстрат и / или вследствие подвижек лавы, возникших из-за поступления новых порций лавы в пределы данного района. В трещинах и полостях в старой подстилающей лаве (за пределами новой лавы), куда метан постепенно поступал, в определенный момент создавалась взрывоопасная концентрация газа (наиболее опасная — около 9% метана в воздухе).

Перегретая газовая смесь при достижении необходимой температуры воспламенялась со взрывами. Отметим, что взрывы газовой-воздушной смеси являются не детонационными (как при подрыве обычных взрывчатых веществ), а дефлаграционными. При дефлаграции скорость распространения пламени дозвуковая: она в десятки и сотни раз меньше, чем при детонации (Комаров, 2001); соответственно, существенно меньше и взрывное давление (пример взрыва метаново-воздушной смеси с добавлением угольной пыли: <http://www.youtube.com/watch?v=Vm62Kcwgezo>). Однако, в длинных извилистых каналах с неровными стенками, характер процесса может смениться на детонационный (Комаров, 2001). Полости, где концентрировалась смесь метана и воздуха («взрывные камеры»), были закупорены слежавшимися в течение тысячелетия лавовыми глыбами, перекрытыми почвенно-пирокластическим чехлом, по-видимому, уже промерзшим. Температура почвы 30.11.2012 г. опустилась до  $-16.7^{\circ}\text{C}$  (по данным ближайшей метеостанции «Козыревск»), а двумя неделями позже — на  $10^{\circ}$  ниже. В горах, учитывая падение температуры с высотой, промерзание, по-видимому, было более интенсивным. Плотная закупоренность взрывных камер приводила к более разрушительным последствиям. Судя по видимому отсутствию взрывных отложений, взрывы, вероятно, происходили в толще лавы, со взламыванием ее поверхности и последующим проседанием глыб лавы и образованием открытых трещин-воронки.

В дальнейшем через эти же каналы газ поступал под давлением, в результате чего прочищались обнажившиеся глыбы лавы, образовывались и действовали вертикальные факелы. Судя по перегоранию ветвей толщиной до 5 см,

и оснований стволов до 10–15 см, пламя могло опаливать холодную сырую древесину не менее нескольких десятков минут. Размеры факелов можно оценить по соотношению и взаимному расположению перегоревших и уцелевших (хотя и погибших) побегов, а также по высоте, на которой происходило перегорание. Можно полагать, что пламя било на высоту не менее 1 м.

Пламя горящего газа у языка потока Ленинградского наблюдали многие свидетели (личные сообщения), в том числе и специалисты-вулканологи А.А.Овсянников и М.Е. Зеленский., А.А. Громов и А.Е. Лобашевский 8.12.2012 г. зафиксировали длительно горящее пламя (по-видимому, не менее нескольких часов) на участке ранее двигавшегося потока площадью около  $20\text{ м}^2$  (рис. 7). М.Е. Зеленский наблюдал пламя 12.12.2012 г. по борту языка лавового потока, а также на самом потоке сверху. Высота пламени была около 0.5 м, иногда до 1 м. Е.А. Сафонова наблюдала пламя 15.12.2012 г. на высоте около 650 м, где новый язык, двигавшийся поверх ранее вытекшего, медленно вторгся в лес. Отметим, что пламя горящего метана похоже на пламя бытового газа, и небольшие его всполохи днем, и особенно при солнечной погоде, могли быть не замечены людьми, посещавшими поток в декабре 2012 г.

Обнаруженные явления (воронки и локальные выгорания) оказались относительной редкостью: два встреченных случая на обследованном участке контакта лава-лес протяженностью около 3 км. Вероятно, это связано с доминирующим типом лавы поля Ленинградского: глыбистая аа-лава является слабой преградой для выхода образующихся газов, которые, по-видимому, в основном выгорали. Иную ситуацию создает монолитная поверхность лавы пахохое: так, при перекрытии ею участка размером  $4\text{ км}^2$  на вулкане Килауэа (Гавайские о-ва) были отмечены сотни взрывов: [http://hvo.wr.usgs.gov/volcanowatch/archive/2002/02\\_10\\_17.html](http://hvo.wr.usgs.gov/volcanowatch/archive/2002/02_10_17.html).

Метановые взрывы и факелы локально разрушительны для экосистем и могут представлять большую опасность для людей, посещающих извержения. Небольшие вспышки и сполохи горящего газа наблюдаются даже при перекрытии маломощной жидкой лавой низкой травянистой растительности (<http://www.youtube.com/watch?v=sEB-g0Gd7KE>). В отдельных случаях взрывы могут быть гораздо более опасными: взрывами выворачивает глыбы старой лавы массой, оценочно, сотни килограммов: <http://khon2.com/2014/11/01/what-are-volcanic-methane-explosions>. При крупных взрывах могут образовываться воронки глубиной до 5 м и диаметром до 15 м ([http://hvo.wr.usgs.gov/gallery/maunaloa/1984/2441053\\_caption.html](http://hvo.wr.usgs.gov/gallery/maunaloa/1984/2441053_caption.html)), камни и





Рис. 7. Пламя горящего газа. Лавовое поле Ленинградское, высота ~ 700 м. Фото А.Е. Лобашевского.

осколки породы при этом могут разлетаться на десятки метров. Опасны также факелы, которые могут внезапно вспыхнуть прямо под ногами подошедших людей. Отметим, что в ходе Толбачинского извержения официальные представители ответственных организаций не предупреждали посетителей лавового потока об этих возможных угрозах, хотя по информации, которую можно найти в Интернете (например, на форуме <http://forum.4x4kam.ru/index.php/topic/1207-толбачик>), лавовый поток Ленинградский в районе его языка 1–17 декабря 2012 г. посетили, приблизительно, несколько сотен человек.

Автор благодарит коллег А.А. Овсянникова, М.Е. Зеленского, М.Г. Белоусову и А.Б. Белоусова, а также очевидцев А.А. Громова, А.Е. Лобашевского, Е.А. Сафонову за обсуждение, предоставленные фотографии и ценные наблюдения.

#### Список литературы

- Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.* Вулкан Толбачик: гавайские извержения на Камчатке // Природа. 2013. № 10. С. 59–67.
- Большое трещинное Толбачинское извержение (1975–1976 гг., Камчатка) / Под ред. С.А. Федотова. М.: Наука, 1984. 638 с.
- Гордон Л.В., Скворцов С.О., Лисов В.И.* Технология и оборудование лесохимических производств. М.: Лесная промышленность, 1988. 360 с.
- Гришин С.Ю.* Сукцессии подгольцовой растительности лавовых потоках Толбачинского дола // Ботанический журнал. 1992. № 1. С. 92–100.
- Гришин С.Ю., Комачкова И.В., Тимофеева Я.О. и др.* Экспедиция в район Толбачинского извержения (Камчатка, август 2013) // Вестник ДВО РАН. 2013. С. 173–178.
- Двигало В.Н., Свирид И.Ю., Шевченко А.В.* Первые количественные оценки параметров трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. по данным аэрофотограмметрических наблюдений // Вулканология и сейсмология. 2014. № 5. С. 3–11.
- Комаров А.А.* Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения. // Дисс. докт. технич. наук. М., 2001. 492 с.
- Перельгин Л.М.* Древесиноведение. М.: Наука, 1957. 252 с.
- Самойленко С.Б., Мельников Д.В., Магуськин М.А. и др.* Начало нового трещинного Толбачинского извержения в 2012 году // Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2012. № 2. С. 20–22.
- Edwards B., Belousov A., Belousova M. et al.* Another «Great Tolbachik» Eruption? // Eos. 2013. V. 94. № 21. P. 189–191.
- Heggie T.W.* Geotourism and volcanoes: Health hazards facing tourists at volcanic and geothermal destinations // Travel Medicine and Infectious Disease. 2009. V. 7. № 5. P. 257–261.
- Symonds R.B., Rose, W.I., Bluth G., Gerlach T.M.* Volcanic gas studies: methods, results, and applications // Volatiles in Magmas. Mineralogical Society of America. Reviews in Mineralogy. 1994. V. 30. P. 1–66.

ВОРОНКИ ВЗРЫВОВ  
**CRATERS FROM EXPLOSIONS NEAR THE EDGE OF THE LAVA FLOW  
FROM THE TOLBACHIK ERUPTION (KAMCHATKA, 2012-2013)**

**S.Y. Grishin**

*Institute of Biology and Soil Science FEB RAS, Vladivostok*

Investigation of place of contact between the fresh lava flow from the 2012-2013 Tolbachik eruption and forest vegetation revealed an unusual phenomenon such as craters from explosions, partially destroyed old lava cover and soil-pyroclastic cover. Besides, traces of powerful scorching on the trunks of alder thickets adjacent to the craters were also found. Most likely, these craters have resulted from explosions that occurred due to the concentration of methane in the cracks and cavities in the old lava. The methane was caused by wood pyrolysis, buried by red-hot lava of 2012 eruption.

*Keywords: vegetation, explosions, flares, methane, pyrolysis, eruption, lava, Tolbachik.*